第38卷 第2期
2021年3月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 38 No. 2
Mar. 2021

新疆野苹果枝条化学计量海拔变异特征研究

闫景明[1,2]， 周晓兵[2]， 张 静[2]， 陶 冶[1,2]
（1. 安庆师范大学 生命科学学院/皖西南生物多样性研究与生态保护安徽省重点实验室，安徽 安庆 246133；
2. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011）

摘 要：为揭示不同海拔新疆野苹果(*Malus sieversii*)养分化学计量特征的变异性，选择一条山谷作为固定研究区，在1300 m、1400 m、1500 m和1600 m等4个海拔梯度上连续3 a(2016—2018年)开展调查取样，对比分析野苹果一年生枝条N、P、K化学计量时空变异特征及其与环境的关系。结果表明：不同海拔和年份新疆野苹果枝条化学计量指标多为中、弱变异，其中P的变异性最弱，N:K变异性最强；年份对除P:K外的5个化学计量指标有显著影响，而海拔仅对N:P有显著影响；枝条N、N:P及N:K也受年份与海拔交互作用的影响。枝条P(2017年除外)、K及P:K在不同海拔间无显著差异，但均具有明显的年际变化；枝条N、N:P及N:K同时具有显著的年际和海拔变异性，其变化趋势各异。相关性分析和NMDS分析表明，野苹果自身生长状况(枯枝率、投影盖度、病虫害程度及结果量)、年降水量及土壤因子对枝条化学计量特征均有一定影响，但不同化学计量指标的响应特征不同；总体上，植株长势越好，其枝条养分含量越低。可见，野苹果枝条化学计量特征在不同海拔梯度和年际间具有明显的变异性，其影响因素较为复杂。

关键词：新疆野苹果(*Malus sieversii*)；一年生枝；化学计量学；年际变化；海拔；环境因子

新疆野苹果(*Malus sieversii*)是第三纪遗存的珍稀濒危野生果树，主要分布于我国新疆伊犁河谷地区、哈萨克斯坦及吉尔吉斯斯坦等地的天山山脉[1]。分布于新疆伊犁天山地区的野苹果被认为是现代栽培苹果的祖先，体现了其极为重要的种质资源价值[2]。然而，近几十年来，新疆野苹果的生存受到苹果小吉丁虫、放牧、人为砍伐及气候变化等因素的强烈干扰，出现大量枯萎死亡，种群面临严峻退化风险[3]。因此，迫切需要从多角度找到其退化死亡原因，以开展针对性保护和救治。氮(N)、磷(P)、钾(K)是植物生长发育不可缺少的养分元素，其中N在植物体内以蛋白质的形式参与碳(C)的固定，P则是以核酸的形式参与蛋白质的合成并且以ATP的形式进行能量传递[4]，而K在提升植物抗性方面具有重要作用[5]。植物体中化学元素含量及元素配比的改变会影响植物的环境适应能力，而反过来环境改变也会在植物化学元素及其比例上有所体现[6-7]。因此，研究野苹果养分元素及其与个体生长和环境因子的关系，有助于揭示其养分利用策略，并为退化原因解析提供一定依据。

养分元素是生态化学计量学研究的重要内容[8]，而养分生态化学计量学也是解决生态系统养分循环、限制性元素判断以及生态系统中物质和能量循环相关生态问题的重要手段[9-10]。如植物C:N、C:P能够反映植物对N、P的利用效率[11]，而N:P则通常是判断植物限制性元素的主要指标(即通常N:P<14为N限制，>16为P限制，14~16之间为共同限制或均不限制)[6]。研究表明，海拔是引起植物化学计量变异的重要因素之一，如高山火绒草(*Leontopodium alpinum*)叶片N含量随海拔升高呈先下降后上升的趋势，N:P呈先升后降再升的趋势，而P变化趋势与之相反[12]。对天山中段干旱区植物叶片的研究发现，叶片N:P随海拔升高而降低，P逐渐升高而N无显著变化[13]。海拔是一个综合的环境因素，其通过改变地形、光照、温度、土壤等环境因子对植物化学计量特征产生影响[14-15]。随海拔升高，光照强度增

收稿日期：2020-06-29； **修订日期：**2020-09-25
基金项目：国家重点研发计划项目(2016YFC0501502)；支持"率先行动"中国博士后科学基金会与中国科学院联合资助优秀博士后项目(2016LH0049)；中国博士后科学基金面上项目(2016M602912)；新疆维吾尔自治区天山创新研究团队项目(2018D14009)；新疆维吾尔自治区区域协同创新专项(2019E01016)资助
作者简介：闫景明(1993-)，男，硕士研究生，主要从事植物生态学研究. E-mail: 1591394459@qq.com
通讯作者：陶冶. E-mail: xishanyeren@163.com

加,植物蛋白酶(含N)消耗也逐渐增多,进而降低植物叶片N含量;但随海拔升高引起的低温会促使植物增加保护酶(含N)含量,且其N增加速率高于N消耗速率,最终使植物叶片N含量随海拔升高而增加[12,16]。因此,随海拔升高,植物化学计量特征在温度和光照之间存在权衡,且不同物种可能存在不同响应,其化学计量特征会随主导因素的改变而改变[17]。从根系吸收养分角度研究表明,高海拔地区土壤温度限制了植物根系活性,降低了其对土壤养分的吸收,从而导致植物在更高海拔发生养分限制[17-18],因此,植物N、P、K含量呈现出随海拔梯度升高而显著降低的趋势[18-19]。不同海拔土壤与植物养分之间也存在显著关联性,如祁连山土壤N含量随海拔升高逐渐增加,而杉木(*Cunninghamia lanceolata*)叶片N含量则逐渐减少,叶片和土壤P含量则呈现先降低后增加的趋势[20]。可见,植物叶片化学计量特征随海拔升高的变化趋势并无一致规律,其影响因素复杂多样,这与植物种类、功能群及地理区域等也具有一定关系。

除海拔外,植物化学计量特征通常也具有显著的年际变化。不同年份多具有显著不同的环境特征,尤其是气候特征(年降水量、平均温度、日照时间等),可能是导致植物化学计量年际变化的关键因素[18,21]。通过对海南橡胶树(*Hevea brasiliensis*)叶片的研究发现,N在不同年份间呈"M"形变化,而P、K则呈波浪形变化,表明植物不同养分元素具有显著不同的年际波动特点[22]。青藏高原草地植物叶片N、P及N:P在年份之间同样存在明显变化,且也表现出不同指标具有不同的规律[23]。那么,不同海拔梯度新疆野苹果枝条养分化学计量特征有何变化特征?是否存在显著的年际差异?

为此,本研究以不同海拔梯度新疆野苹果一年生枝条为研究对象,分析N、P、K及其比值在年际和海拔间的变异性,以及化学计量特征与气象因子及其自身生长状况的关系。该研究旨在了解海拔对新疆野苹果化学计量特征的影响,并确定主要影响因素,为新疆野苹果的生态保育提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆伊犁州新源县野果林改良场果三队二沟(83.589°E,43.377°N),属天山西部那拉提山北麓。新源县属大陆性半干旱气候,冬暖夏凉,山地气候明显。年均降水量260~500 mm,年均温度6~9.3 ℃之间,积雪期150 d,无霜期140~180 d,年日照时间为2500 h。伊犁河谷地区海拔800~1600 m间存在"逆温层"[24],并在整个河谷形成了一条东西长120 km、宽20 km逆温带,该区域气温随海拔的升高而升高(通常海拔每升高100 m温度上升1 ℃)或者保持相对稳定。在新源县,山下平原区气温可低至−10 ℃,而逆温层内的1月平均气温仅−3 ℃左右;逆温层内的年降水量也高于平原区,可达400~500 mm[24]。研究区春季降水丰富,植物生长旺盛,生物多样性高[1]。野苹果林下土壤多发育于富含碳酸盐的黄土母质层,腐殖质较厚,呈黑棕色,质地适中,结构良好,疏松多孔,富含碳酸盐和盐基物质,肥力较高[25]。野苹果通常单独成林,或与野杏(*Armeniaca sibirica*)、野核桃(*Juglans regia*)等以混交林的形式存在[26]。

1.2 研究方法

1.2.1 野苹果枝条样品采集 根据研究区野苹果实际分布上限和下限,设置1300 m、1400 m、1500 m和1600 m共4个海拔梯度,每个海拔梯度在东坡和西坡各设置1个30 m×30 m的调查样方。在每个样方内选择6株中等大小的野苹果树标记为固定样株,每个海拔梯度共12株,共48株;连续开展3 a(2016—2018年7月中下旬)开展调查采样。采样时,分别在树冠中部东南西北4个方向各采集2个长势均一的一年生营养枝,其长度在15~20 cm之间,基部直径在2.5~3.5 mm之间,枝条表皮光滑,木质化程度中等。每棵树共8个枝条,混合为1份,装入标记好的信封内,置于装有冰袋的泡沫保温箱内保存。

1.2.2 枝条样品处理与指标测定 将所有枝条样品(1棵树1份混合样品)带回实验室,置于70 ℃烘箱内烘干至恒重。将枝条用盘式振动粉碎研磨仪(RS200,德国莱驰)研磨成粉末,然后装入封口袋中置于干燥暗处保存待用。利用碳氮分析仪(Multi N/C 3100,德国耶拿)测定N含量,采用钼锑抗比色法测定P含量,采用火焰光度法测定K含量,均以质量含量表示($mg\cdot g^{-1}$),并计算枝条化学计量比(N:P、N:K及P:K)[27]。1棵树为1个取样个体(即1个重复),每个海拔梯度有东西2个坡向的样方,每个样方6棵树为6个重复个体,每个海拔梯度12个个体,4个海拔共计48个个体。

1.2.3 野苹果个体生长状况调查 用皮尺和测高杆分别测量每株野苹果树的基径(树干基部地表以上10 cm处,以基部周长折算)和树高(树干基部至树冠顶部),随后依据一定标准通过目测等方法对野苹果植株枯枝率、病虫害程度、投影盖度和结果量进行综合评估。枯枝率(dead branch rate, DBR, %)为单株死亡枝条数占单株总枝条数的百分比[28],数值越大表示活枝比例越小。病虫害程度(degree of diseases and insect pests, DIP)分为1~10共10个等级,数值越大表示病虫害越严重;实际评估时,以叶片病斑数量、枝条病叶数量及整株病叶数量进行综合评价。植株结果量(fruit amount, FA)通过果实大小、数量及植株大小综合评价,以数字0~9共10个等级表示(0表示无果实,数值越大果实越多);相同大小植株其单个果实越大、数量越多则等级越高,反之则越低。投影盖度(coverage, Cov, %)是植株冠幅面积(由树冠长×宽×π得到,长、宽由皮尺测量)扣除空隙得到,空隙度以目测法获得[29]。

1.2.4 土壤样品采集与分析 依据样方内野苹果树样株数及分布状况,确定以相邻的2棵树为1个单元分为3个采样单元(即3个样方内的重复)采样,每2棵树采集1份0~10 cm混合土壤样品,采样点位于树干外1~2 m范围内,在每棵树南、北2个方向各采集1次,每个混合土样共采集4份土壤。每年每个样方3份土样,每个海拔梯度6份土样,4个海拔梯度共24份土样。土壤样品经自然风干后过筛,参照《土壤农化分析》中土壤理化特性分析的标准方法[27],测定土壤有机C、全量N、P、K含量,速效N、P、K含量,以及pH和电导率(EC)。

1.2.5 地理地形及气象因子获取 在野外调查过程中,对每个样地进行GPS定位,获取样地经纬度、海拔、坡度、坡向、坡位等地理地形参数。年均降水量(mean annual precipitation, MAP)数据从新源县气象局获取。由于逆温层的存在[24],本文不考虑年均温和不同海拔上的温度差异对野苹果枝条化学计量的影响。

1.2.6 数据处理方法 对各年份、各海拔野苹果枝条N、P、K化学计量参数进行描述统计分析,比较各参数变异性(变异系数Cv<25%为弱变异,25%~75%为中等强度变异,>75%为强变异)。采用一般线性模型(GLM)中的Two-way ANOVA分析年份和海拔对野苹果枝条化学计量特征的影响大小及其交互作用。采用One-way ANOVA对比不同年份及不同海拔野苹果枝条化学计量特征的差异性,用Duncan法进行多重比较(α=0.05)。采用Pearson相关性分析解析新疆野苹果枝条化学计量特征与其个体生长状况、海拔、降水及土壤理化特性之间的相关性;随后,采用非度量多维尺度法(Nonmetric Multidimensional Scaling, NMDS)探析枝条化学计量特征与环境因子间的多元关系,揭示不同海拔野苹果枝条化学计量特征的主要影响因素。

利用SPSS 19.0软件进行描述统计分析、相关性分析及ANOVA分析,用PC-ORD V 5.0软件进行NMDS分析,采用Excel 2013软件进行常规数据分析,采用Origin 8.5软件做图。

2 结果与分析

2.1 不同海拔新疆野苹果枝条N、P、K化学计量特征的变异性及变异来源

由变异系数可知(表1),不同时空尺度上野苹果枝条N:K多为中等强度变异,最大值为42.9%。N、P、N:P以及P:K多为弱变异,部分海拔地区变异为中等变异,其中K变异强度的最大值为35.9%。P的变异性最弱,最大值仅为15.1%,体现出较强的稳定性。由表2可知,除野苹果枝条P:K外,其他指标主要受年份的影响(P<0.05),海拔仅对N:P有显著影响(P<0.05),年份与海拔的共同作用对N及N:P、

表1 不同海拔新疆野苹果枝条化学计量特征在不同年份间的变异系数Cv

Tab. 1 Variation coefficient Cv of twig stoichiometric characteristics of *M. sieversii* at different altitudes in different years /%

年份	海拔/m	N	P	K	N:P	N:K	P:K
2016	1300	19.1	13.6	27.3	18.1	28.4	19.7
	1400	25.4	11.2	16.4	23.1	25.2	11.7
	1500	16.5	13.3	21.9	15.0	21.6	23.5
	1600	23.6	4.9	12.6	27.5	25.5	11.8
2017	1300	20.4	15.1	22.8	13.7	26.7	21.6
	1400	23.1	8.6	17.9	23.5	26.8	14.2
	1500	24.2	14.6	17.7	28.8	28.4	13.5
	1600	22.5	8.9	18.5	22.7	26.7	14.7
2018	1300	15.6	11.7	12.0	14.3	22.2	12.5
	1400	23.2	10.4	21.9	22.8	27.9	19.5
	1500	21.9	14.1	22.2	16.0	31.7	20.3
	1600	25.6	11.7	35.9	24.1	42.9	25.7

表2　新疆野苹果当年生枝条化学计量特征的双因素方差分析

Tab. 2　Two-way ANOVA of twig stoichiometric characteristics of *M. sieversii*

因素	df	N	P	K	N:P	N:K	P:K
年份	3	3.90*	29.85**	10.98**	6.88*	5.64**	0.70
海拔	2	2.60	0.73	0.32	3.74*	1.15	0.49
年份×海拔	6	7.12**	2.01	0.74	4.86**	5.75**	1.87

注：*表示 $P<0.05$，**表示 $P<0.01$。下同。

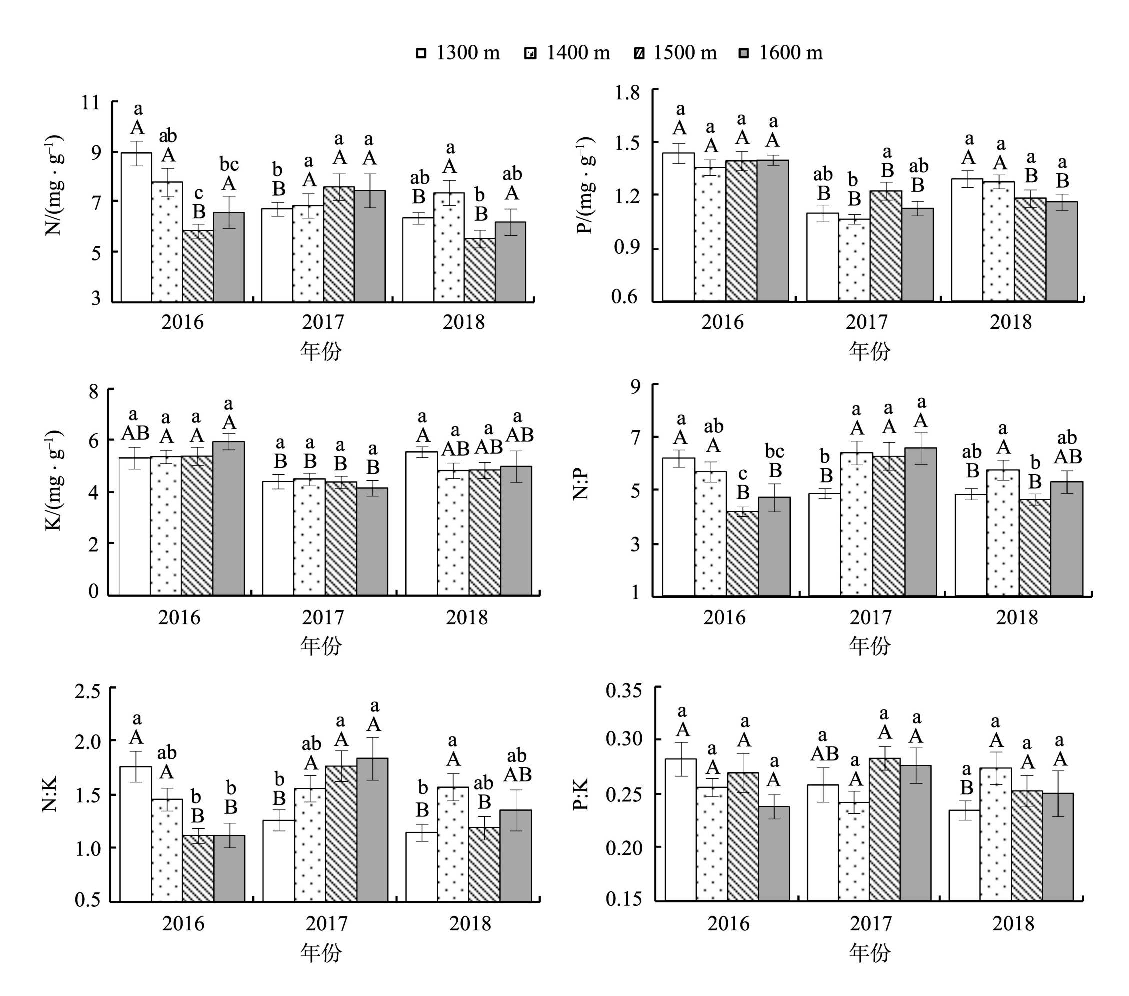
N:K也存在显著影响（$P<0.01$）。总体上新疆野苹果枝条N、P、K变异系数中等偏小，且在不同海拔和年份间有所差异。

2.2　新疆野苹果枝条化学计量特征在海拔和年际间的差异性

方差分析显示（图1），2016年N含量随海拔升高呈升高-降低的波动变化，2018年也具有此趋势，而2017年变化不明显。1300 m和1500 m枝条N含量在3 a间有显著差异，而其他2个海拔则无显著差异。除2017年枝条P含量在不同海拔间有差异显著外，其他年份无显著的海拔梯度差异。各年份枝条K含量均无显著的海拔梯度差异，但不同海拔N和P均呈现显著的年际差异。2017年2018年枝条P含量偏低，而2017年K含量偏低。2016年枝条N:P随海拔升高而降低，但2017年呈相反趋势，而2018年呈无规律变化；枝条N:K随海拔升高的变化趋势与N:P相同，且整体上枝条N:P和N:K均以2017年为最高。枝条P:K随海拔升高而变化的规律性不明显，且在年际间差异性也较小（1300 m除外）。可见，枝条N、P、K含量随海拔变化的差异性低于N:P和N:K，且枝条化学计量特征多具有显著的年际变化特征。

2.3　新疆野苹果枝条化学计量特征与个体生长及环境因子间的相关性

由相关性分析可知（表3），野苹果枝条N、P含量均与植株盖度和结果量呈极显著负相关（$P<$



注：不同小写字母表示化学计量特征在4个海拔间的差异显著（$P<0.05$）；不同大写字母表示化学计量特征在3 a之间的差异显著（$P<0.05$）。

图1　新疆野苹果枝条化学计量特征在不同海拔和不同年份间的差异性

Fig. 1　Differences in stoichiometric characteristics of *M. sieversii* at different altitudes in different years

表3 新疆野苹果枝条化学计量特征与个体生长参数及环境因子之间的相关系数

Tab. 3 Correlation coefficients between twig stoichiometric characteristics and individual growth parameters of *M. sieversii*, and environmental factors

参数	N	P	K	N:P	N:K	P:K
DIP	0.109	0.218*	0.083	0.012	0.017	0.028
Cov	−0.288**	−0.372**	−0.197*	−0.095	−0.127	−0.087
DBR	0.170	0.187*	0.189*	0.081	0.034	−0.053
FA	−0.258**	−0.241**	−0.147	−0.159	−0.128	−0.033
Alt	−0.114	−0.067	−0.026	−0.045	−0.030	0.005
MAP	−0.114	0.138	0.190*	−0.226*	−0.215*	−0.092
OC	0.110	−0.170	−0.098	0.212*	0.124	−0.043
TN	0.366**	0.186*	0.133	0.236**	0.174	−0.012
TP	0.231**	0.258**	0.217*	0.063	0.011	−0.069
TK	0.008	−0.238**	−0.177*	0.139	0.146	0.038
AN	0.126	0.378**	0.191*	−0.122	−0.069	0.067
AP	0.284**	−0.035	−0.051	0.276**	0.247**	0.045
AK	0.203*	0.312**	0.162	0.002	0.030	0.051
pH	−0.201*	−0.126	−0.087	−0.125	−0.088	0.013
EC	0.355**	0.427**	0.239**	0.089	0.099	0.046

注：DIP为病虫害程度；Cov为盖度；DBR为枯枝率；FA为植株的结果量；Alt为海拔；MAP为年均降水量；OC为有机碳；TN为全氮；TP为全磷；TK为全钾；AN为速效氮；AP为速效磷；AK为速效钾；EC为土壤电导率。下同。

0.01），P与病虫害程度和枯枝率呈现显著正相关（$P<0.05$）；K与盖度和枯枝率分别呈显著负相关和正相关，而3个化学计量比与个体生长参数均无显著相关性。总体表现为，野苹果植株长势越好，其枝条N、P、K含量越低。

海拔与枝条化学计量特征无显著相关性，K含量、N:P和N:K则与年降水量呈显著负相关。9个土壤理化因子中，土壤C含量和pH与枝条6个化学计量指标的相关性最弱（土壤C仅与N:P显著正相关，pH仅与N显著负相关），其余7个土壤因子与枝条N和P的相关性较大，多达到显著和极显著水平。枝条K含量与土壤全P、K、速效N及电导率具有显著和极显著相关性。枝条化学计量比与土壤因子的相关性较弱，仅N:P与土壤C、N之间及速效P与N:P和N:K之间具有显著相关性。相比之下，野苹果个体生长参数和环境因子均与N、P、K相关性较强，而与化学计量比相关性较弱。

2.4 新疆野苹果枝条化学计量特征影响因素的多元分析

由NMDS分析可知（表4），前两轴累计解释量

表4 NMDS排序前2轴的累积解释量及化学计量指标、环境因子与排序轴的相关系数

Tab. 4 Cumulative percentage variance and the correlation coefficients between stoichiometric parameters, environmental factors and the first two axes of NMDS ordination

参数	Axis 1	Axis 2
化学计量指标		
N	0.730**	0.873**
P	0.552**	−0.034
K	0.765**	−0.273**
N:P	0.420**	0.944**
N:K	0.103	0.928**
P:K	−0.399**	0.318**
环境因子		
MAP	−0.277**	0.190*
Cov	−0.322**	−0.149
DBR	0.247**	0.069
FA	−0.274**	−0.172
OC	0.007	0.179*
TN	0.320**	0.260**
TP	0.307**	0.092
AN	0.215*	−0.031
AP	0.140	0.294**
AK	0.247**	0.078
pH	−0.207*	−0.148
EC	0.386**	0.164
累积解释量/%	25.6	97.3

注：仅保留了显著相关的环境因子。

达到97.3%，显示了较好的排序结果。除枝条N:K和P:K外，各化学计量指标与第1轴呈显著正相关（$P<0.05$）；除P、K与第2轴不相关或呈显著负相关外，其余指标为显著正相关。在全部15个生物与非生物因子中，除海拔、病虫害程度及土壤全K与排序轴无显著相关外，其余12个因子均与2个排序轴具有显著或极显著（$P<0.01$）相关性。其中，年降水量、投影盖度及结果量与第1轴均呈现显著负相关，枯枝率与第1轴呈现显著正相关；年降水量还与第2轴呈显著正相关。其余8个与排序轴达到显著水平的土壤因子中，除pH与第1轴呈负相关外，其余均与对应排序轴呈正相关。

在排序图中可以看出（图2），以环境因子中心点将排序图划分4象限，枝条N、N:P、N:K位于第1象限（其中N在右上方），P、K位于第4象限，而P:K位于第2象限。整体来看，枝条N及其比例与P、K

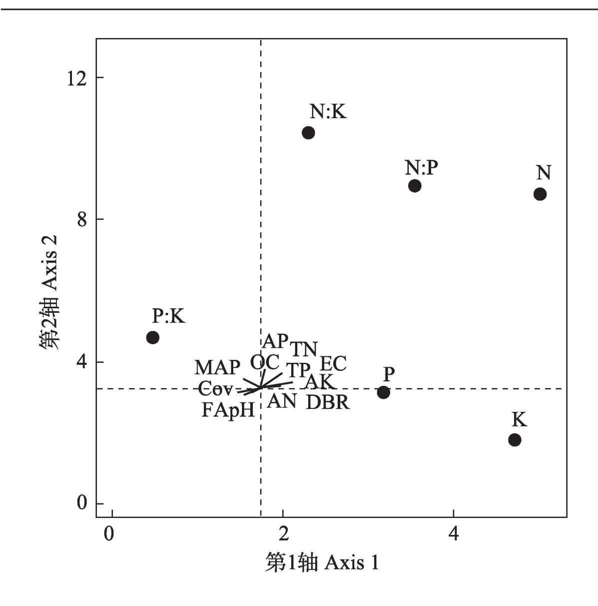


图2　新疆野苹果枝条化学计量指标与环境因子的NMDS排序

Fig. 2　NMDS ordination plot of twig stoichiometric indices of *M. sieversii* and environmental factors

及P:K呈上、下明显分离的格局，且这2个类群内部化学计量指标也具有沿第1轴分离的趋势。依据相关系数大小，枝条化学计量特征的主要影响因素为年降水量、投影盖度、枯枝率、结果量、土壤全量N、P，速效P、K及电导率(表4)。由此可见，野苹果枝条N及其化学计量比(N:P和N:K)与P、K和P:K均受多种因子的综合影响，并表现出不同的环境响应特征。

3　讨 论

枝条具有支持叶片并且在植物光合作用中起到运输养分和水分的作用，其养分状况对叶片生长和光合生理具有直接影响。相比于枝条，叶片需要更高浓度的养分以保证光合生理需要，故而植物叶片N、P含量通常高于其枝条[30]。植物养分化学计量特征通常表现出一定的年际和海拔变化特征，但这种变化也因植物功能群或物种的不同而不同。本研究发现，野苹果枝条N在不同年份不同海拔的变化趋势有较大不同，这与高山栎(*Quercus aquifolioides*)N含量在海拔间的变化特征有相似之处[31]。不同的年际和海拔梯度变化可以用植物-生理假说及温度-生物地球化学假说解释，即在不同年份，这两种假说可能交替起到主导作用[17]。野苹果枝条N含量平均值(6.81 $mg\cdot g^{-1}$)低于高山栎组[*Quercus sect Heterobalanus* (Oerst.) Menits.]常绿灌木植物(5.82 $mg\cdot g^{-1}$)，但前者具有明显的海拔变化，而后者随海拔变化不明显[32]，可能是因为野苹果属于落叶植物，其对不同海拔造成的环境变化比常绿灌木更加敏感[33]。野苹果枝条P含量平均值(1.25 $mg\cdot g^{-1}$)与高山栎组灌木P含量(1.21 $mg\cdot g^{-1}$)相近[32]，但海拔变化格局各不相同，野苹果枝条P含量比具有显著海拔变异性的高山栎组植物更为稳定。其中，野苹果枝条仅2017年在各海拔间有显著差异，其余年份差异不显著，可能是因为2017年降水量在3 a中最少，较少的降水量使得土壤母质风化速率下降，植物可利用的土壤P含量下降，导致各海拔出现显著差异[13]。同时，双因素方差分析表明，年份对枝条P有显著影响，而海拔的影响不显著。此外，野苹果枝条K含量(4.95 $mg\cdot g^{-1}$)略低于浙江常山油茶(5.62 $mg\cdot g^{-1}$)，这可能与植物种类的不同有关[34]。

养分间的比例平衡通常比养分的绝对浓度对植物生长的影响更加明显[35]。植物体内的N:P不仅反映了植物个体的功能属性，还体现了植物与环境间的相互影响，如元素或能量供应平衡与否会导致种间相互作用及群落结构的变化[36]。新疆野苹果枝条N:P在不同年份各海拔的变化各不相同。2016年随着海拔的升高N:P先降低后升高，这与祁连山中部圆柏(*Sabina przewalskii*)叶片N:P的变化趋势基本相同[36]；2017年除1600 m处枝条N:P显著低于其他海拔外，其余海拔间无显著变化，这与武夷山黄山松(*Pinus taiwanensisr*)新老叶片的变化趋势相似[37]；2018年野苹果N:P随着海拔升高呈现先升高后降低的趋势，这与祁连山不同海拔火绒草(*Leontopodium leontopodioides*)叶片N:P的变化趋势基本相同[1]。由此可见，不同海拔之间植物体N:P的变化多具有年际差异性。从平均值来看，不同海拔野苹果枝条N:P平均值(5.47)与准噶尔西部山地野苹果枝条N:P极为接近(2016年和2017年分别为5.71和5.13)[38]，可能体现了种内趋同性。但野苹果枝条N:P低于湖南会同杉木茎N:P平均值(7.02)[39]，更低于米槠(*Myrica nana*)(17.5)[40]和杨梅(*Castanopsis carlesii*)(20.6)[41]，这表明新疆野苹果具有相对较高的生长速率，因为高生长速率植物需要更多的P，进而降低了N:P[8]。同时，野苹果枝条N:P也远低于黔中喀斯特地区落叶树种(12.72)、常绿树种(16.52)[42]以及江西单叶蔓荆(*Vitex rotundi folia*)(13.84)[43]，这可能体现了植物化学计量特征的种间差异性和区域异质性。

在野苹果枝条化学计量特征的影响因素方面，其植株投影盖度和结果量与枝条N、P、K含量均呈显著或极显著负相关(结果量与K除外)，而枯枝率却与P和K呈显著正相关，表明野苹果长势越好(盖度和结果量高而枯枝率低)，其枝条N、P含量越低；反之，长势越差其N、P含量越高。这可能是因为野苹果在病虫害胁迫下枝条部分或大量死亡，引起植物体应激反应，逐渐提高N、P和K含量以增加相关调节物质来抵抗胁迫。此外，与野苹果相似，黄土高原子午岭辽东栎(*Quercus wutaishansea*)在9月结果期植物体中养分含量也明显下降，这可能是因为植物结果数量越多植物叶片就需要更多的养分来供给果实生长发育，从而使枝条内元素量降低[44]。可见，野苹果个体生长状况显著影响了其枝条化学计量特征。

本研究发现，海拔与野苹果枝条化学计量特征均无显著相关性，这与“养分限制”假说是矛盾的。该假说认为，在高海拔地区土壤低温限制了植物根系活性，降低了根系对养分的吸收，从而引起高海拔地区的养分限制[17-18]。而野苹果枝条N、P、K含量随着海拔的升高并未明显降低，这可能是因为在逆温层的常年影响下，作为植物P、K主要来源的土壤母质其组成与性质在不同海拔间趋于相似；再加上逆温层稳定气候的效应，进而导致野苹果枝条P、K没有随海拔升高而发生明显降低现象[3, 45-46]，这在一定程度上也说明野苹果枝条P、K具有较强的维持自身稳定的能力。植物N除受到土壤母质影响外，还受到凋落物、N沉降以及植物吸收利用的影响[3]，因此，变异系数较大，但在本研究中其随海拔升高而降低的趋势也不明显。本研究发现，降水量并未显著影响野苹果N、P含量，但显著促进了K的吸收，表明降水量的适当增加有助于增强植株抗性[5]。

植物通过根系吸收土壤中的养分，通过输导组织运输到枝条和叶片，因此土壤因子尤其是土壤养分与植物化学计量特征多有显著相关性[7]。本研究中，土壤养分对野苹果枝条化学计量指标的影响各不相同，但土壤N、P及AK含量的增加有助于野苹果枝条N、P含量提高，土壤电导率对枝条N、P、K含量提高也具有促进作用，这与黄土丘陵区土壤养分含量与植物养分含量呈显著正相关的结果相同[47]。本研究土壤pH平均值为7.2，接近中性土；在这种情况下，土壤pH与野苹果枝条化学元素总体相关性较弱(仅与N呈显著负相关)，不同于高海拔雪岭云杉林土壤pH与植物叶片N含量呈显著正相关的结论[48]。总之，不同海拔新疆野苹果枝条化学计量特征的影响因素较为复杂，既有自身原因也有外界环境因素的影响，且不同化学计量指标也具有不一致的响应特征。

4 结 论

(1) 新疆野苹果枝条N、P、K化学计量特征整体表现为：中等变异和弱变异，年份是导致野苹果化学计量变异的主要因素，海拔和年份的交互作用也对枝条N、N:P及N:K产生显著影响。枝条P、K、P:K在不同海拔间的差异性较低，但均具有明显的年际变化特征。

(2) 野苹果4个个体生长参数(枯枝率、投影盖度、病虫害程度及结果量)显著影响了枝条N、P、K化学计量特征，表现为长势越好枝条养分含量越低；非生物环境因子中的年降水量和多个土壤理化因子(土壤全量N、P，速效P、K及电导率)也对野苹果枝条化学计量特征有较大影响。NMDS多元分析表明，野苹果枝条N、N:P、N:K与P、K、P:K是两类不同的化学计量指标群，且具有不同的环境响应特征。

致谢：中国科学院新疆生态与地理研究所孙逸翔、陆永兴，石河子大学黄刚、陈立参与了野外调查，在此表示感谢。

参考文献(References)：

[1] 张新时. 伊犁野果林的生态地理特征和群落学问题[J]. 植物学报, 1973, 15(2): 239-253. [Zhang Xinshi. Eco-geographical characteristics and community problems of wild fruit forest in Yili[J]. Bulletin of Botany, 1973, 15(2): 239-253.]

[2] Duan N, Bai Y, Sun H, et al. Genome re-sequencing reveals the history of apple and supports a two-stage model for fruit enlargement[J]. Nature Communications, 2017, 8(1): 249.

[3] 陶冶, 张元明, 周晓兵. 伊犁野果林浅层土壤养分生态化学计量特征及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2239-2248. [Tao Ye, Zhang Yuanming, Zhou Xiaobin. Ecological stoichiometry of surface soil nutrient and its influencing factors in the wild fruit forest in Yili region, Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(7): 2239-2248.]

[4] Sterner R W, Elser J J. Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere[M]. Princeton, NJ,

USA: Princeton University Press, 2002.

[5] 刘晓燕, 何萍, 金继运. 钾在植物抗病性中的作用及机理的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 445-450. [Liu Xiaoyan, He Ping, Jin Jiyun. Advances in effect of potassium nutrition on plant disease resistance and its mechanism[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(3): 445-450.]

[6] Zhang L, Bai Y, Han X. Application of N: P stoichiometry to ecology studies[J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(9): 1009-1018.

[7] 李丹维, 王紫泉, 田海霞, 等. 太白山不同海拔土壤碳、氮、磷含量及生态化学计量特征[J]. 土壤学报, 2017, 54(1): 160-170. [Li Danwei, Wang Ziquan, Tian Haixia, et al. Carbon, nitrogen and phosphorus contents in soils on Taibai Mountain and their ecological stoichiometry relative to elevation[J]. Acta Pedologica Sinica, 2017, 54(1): 160-170.]

[8] 程滨, 赵永军, 张文广, 等. 生态化学计量学研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1628-1637. [Cheng Bin, Zhao Yongjun, Zhang Wenguang, et al. The research advances and prospect of ecological stoichiometry[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6): 1628-1637.]

[9] 田地, 严正兵, 方精云. 植物化学计量学: 一个方兴未艾的生态学研究方向[J]. 自然杂志, 2018, 40(4): 235-241. [Tian Di, Yan Zhengbing, Fang Jingyun. Plant stoichiometry: A research frontier in ecology[J]. Chinese Journal of Nature, 2018, 40(4): 235-241.]

[10] 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等. 生态化学计量学特征及其应用研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5484-5492. [Zeng Dongping, Jiang Liling, Zeng Congsheng, et al. Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5484-5492.]

[11] 安卓, 牛得草, 文海燕, 等. 氮素添加对黄土高原典型草原长芒草氮磷重吸收率及 C: N: P 化学计量特征的影响[J]. 植物生态学报, 2011, 35(8): 801-807. [An Zhuo, Niu Decao, Wen Haiyan, et al. Effects of N addition on nutrient resorption efficiency and C: N: P stoichiometric characteristics in Stipa bungeana of steppe grasslands in the Loess Plateau, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2011, 35(8): 801-807.]

[12] 张小芳, 刘贤德, 敬文茂, 等. 祁连山不同海拔火绒草叶片生态化学计量特征及其与土壤养分的关系[J]. 应用生态学报, 2019, 30(12): 4012-4020. [Zhang Xiaofang, Liu Xiande, Jing Wenmao, et al. Characteristics of Leontopodium leontopodioides leaf stochiometry with altitude and their relationship with soil nutrients in Qilian Mountains, Northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(12): 4012-4020.]

[13] 杨思琪, 赵旭剑, 森道, 等. 天山中段植物叶片碳氮磷化学计量及其海拔变化特征[J]. 干旱区研究, 2017, 34(6): 1371-1379. [Yang Siqi, Zhao Xujian, Sen Dao, et al. Leaf C, N and P chemometries and their altitudinal variations in the central Tianshan Mountains[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(6): 1371-1379.]

[14] Sardans J, Rivas-Ubach A, Peñuelas J. The C: N: P stoichiometry of organisms and ecosystems in a changing world: A review and perspectives[J]. Perspective in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2012, 14(1): 33-47.

[15] Wang L, Zhao G, Li M, et al. C: N: P stoichiometry and leaf traits of halophytes in an arid saline environment, northwest China[J]. PLoS One, 2015, 10(3), e0119935.

[16] Fan J, Harris W, Zhong H. Stoichiometry of leaf nitrogen and phosphorus of grasslands of the Inner Mongolian and Qinghai-Tibet Plateaus in relation to climatic variables and vegetation organization levels[J]. Ecological Research, 2016, 31(6): 821-829.

[17] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101 (30): 11001-11006.

[18] Soethe N, Lehmann J, Engels C. Nutrient availability at different altitudes in a tropical montane forest in Ecuador[J]. Journal of Tropical Ecology, 2008, 24(4): 397-406.

[19] 刘佳庆, 孟莹莹, 包也, 等. 长白山林线植物岳桦和牛皮杜鹃养分化学计量特征及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3117-3124. [Liu Jiaqing, Meng Yingying, Bao Ye, et al. Nutrient stoichiometry of *Betula ermanii* and *Rhododendron aureum* and related affecting factors on timberline of Changbai Mountains, Northeast China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(12): 3117-3124.]

[20] 赵维俊, 刘贤德, 金铭, 等. 祁连山青海云杉林叶片—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 477-489. [Zhao Weijun, Liu Xiande, Jin Ming, et al. Ecological stoichiometric characteristics of carbon, nitrogen and phosphorus in leaf-litter-soil system of Picea Crassifolia forest in the Qilian Mountains[J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(2): 477-489.]

[21] Sohng J, Han A R, Jeong M-A, et al. Seasonal pattern of decomposition and N, P, and C dynamics in leaf litter in a Mongolian oak forest and a Korean pine plantation[J]. Forests, 2014, 5(10): 2561-2580.

[22] 林清火, 林钊沐, 茶正早, 等. 海南农垦橡胶树叶片氮磷钾含量年际变化分析[J]. 热带作物学报, 2012, 33(4): 595-601. [Lin Qinghuo, Lin Zhaomu, Cha Zhengzao, et al. Annual variation of N, P, K content of rubber tree leaves in Hainan[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2012, 33(4): 595-601.]

[23] 杨阔, 黄建辉, 董丹, 等. 青藏高原草地植物群落冠层叶片氮磷化学计量学分析[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 17-22. [Yang Kuo, Huang Jianhui, Dong Dan, et al. Canopy leaf N and P stoichiometry in grassland communities of Qinghai-Tibetan Plateau, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 17-22.]

[24] 顾鹤寿. 伊犁逆温层的植物资源[J]. 植物资源与环境, 1993, 2 (2): 12-15. [Gu Heshou. On plant resources of inversion layer in Yili[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 1993, 2(2): 12-15.]

[25] 苏志豪, 李文军, 曹秋梅, 等. 新疆野苹果的种群年龄结构与数量动态[J]. 干旱区研究, 2019, 36(5): 1153-1160. [Su Zhihao, Li Wenjun, Cao Qiumei, et al. Age composition and quantitative dynamic status of *Malus sieversii* population[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(5): 1153-1160.]

[26] 张苹, 吕昭智, 张鑫, 等. 新疆伊犁与哈萨克斯坦新疆野苹果[*Malus sieversii* (Ledeb.) Roem.]种群年龄结构[J]. 干旱区研究, 2019, 36(4): 844-853. [Zhang Ping, Lyu Zhaozhi, Zhang Xin, et al. Age structure of *Malus sieversii* population in Ili of Xinjiang and Kazakhstan[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(4): 844-853.]

[27] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. [Bao Shidan. Analysis of Soil and Agrochemistry [M]. 3 ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.]

[28] 崔志军, 张彦龙, 罗朝辉, 等. 苹果小吉丁虫(*Agrilus mali* Matsumura)对野苹果林的危害及其评估[J]. 干旱区研究, 2018, 35(5): 1153-1159. [Cui Zhijun, Zhang Yanlong, Luo Chaohui, et al. Damage of *Agrilus mali* Matsumura in wild apple forest and its assessment[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(5): 1153-1159.]

[29] 常兆丰, 段小峰, 韩福贵, 等. 民勤荒漠区主要植物群落的稳定性及生态效应[J]. 西北植物学报, 2014, 34(12): 2562-2568. [Chang Zhaofeng, Duan Xiaofeng, Han Fugui, et al. Stability and ecological effect of mainly plant communities in Minqin desert area[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2014, 34(12): 2562-2568.]

[30] 马任甜, 安韶山, 黄懿梅. 黄土高原不同林龄刺槐林碳、氮、磷化学计量特征[J]. 应用生态学报, 2017, 28(9): 2787-2793. [Ma Rentian, An Shaoshan, Huang Yimei. C, N and P stoichiometry characteristics of different-aged *Robinia pseudoacacia* plantations on the Loess Plateau, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(9): 2787-2793.]

[31] Yu F, Pan Ho, Tognetti R, et al. Elevation alters carbon and nutrient concentrations and stoichiometry in *Quercus aquifolioides* in southwestern China[J]. Science of the Total Environment, 2018, 622-623: 1463-1475.

[32] 李丽, 胡君, 于倩楠, 等. 横断山区高山栎组灌木型植物C、N、P生态化学计量特征[J]. 山地学报, 2018, 36(6): 878-888. [Li Li, Hu Jun, Yu Qiannan, et al. Stoichiometric characteristics of carbon, nitrogen and phosphorus in *Quercus* Sect. *Heterobalanus* shrubs in the Hengduan Mountain, China[J]. Mountain Research, 2018, 36(6): 878-888.]

[33] 白坤栋, 蒋得斌, 曹坤芳, 等. 哀牢山和猫儿山中山常绿和落叶阔叶树光合特性对季节温度变化的响应[J]. 生态学报, 2010, 30(04): 71-79. [Bai Kundong, Jiang Debin, Cao Kunfang, et al. Photosynthetic response to seasonal temperature changes in evergreen and deciduous broad-leaved trees in montane forests of Ailao Mountain and Mao'er Mountain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(4): 71-79.]

[34] 王增, 蒋仲龙, 刘海英, 等. 油茶不同器官氮、磷、钾化学计量特征随年龄的变化[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(2): 264-270. [Wang Zeng, Jiang Zhonglong, Liu Haiying, et al. Ecological stoichiometry of N, P, and K with age in *Camellia oleifera* organs[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2019, 36(2): 264-270.]

[35] Koerselman W, Meuleman A M F. The vegetation N: P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. Journal of Applied Ecology, 1996, 33(6): 1441-1450.

[36] 王放, 张芬, 勾晓华, 等. 祁连山中部祁连圆柏叶片氮、磷化学计量特征时空变化[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2019, 55(4): 525-532. [Wang Fang, Zhang Fen, Gou Xiaohua, et al. Temporal and spatial variation of N and P stoichiometric characteristics of *Sabina przewalskii* leaves in the middle of Qilian Mountains[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Science, 2019, 55(4): 525-532.]

[37] 付作琴, 吕茂奎, 李晓杰, 等. 武夷山不同海拔黄山松新叶和老叶氮磷化学计量特征[J]. 生态学杂志, 2019, 38(3): 33-39. [Fu Zuoqin, Lyu Maokui, Li Xiaojie, et al. Nitrogen and phosphorus stoichiometric characteristics of new and old leaves in *Pinus taiwanensis* at different altitudes in Wuyi Mountain[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(3): 33-39.]

[38] 刘小艳, 周晓兵, 张静, 等. 准噶尔西部山地新疆野苹果当年生枝条养分化学计量特征[J]. 植物研究, 2020, 40(4): 530-542. [Liu Xiaoyan, Zhou Xiaobing, Zhang Jing, et al. Nutrient stoichiometry of current-year stems of wild apple trees (*Malus sieversii*) in mountainous area of west Junggar Basin, Xinjiang, China[J]. Bulletin of Botanical Research, 2020, 40(4): 530-542.]

[39] 陈婵, 王光军, 赵月, 等. 会同杉木器官间C、N、P化学计量比的季节动态与异速生长关系[J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7614-7623. [Chen Chan, Wang Guangjun, Zhao Yue, et al. Seasonal dynamics and allometric growth relationships of C, N, and P stoichiometry in the organs of *Cunninghamia lanceolata* from Huitong[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(23): 7614-7623.]

[40] 胥超, 林开淼, 刘小飞, 等. 不同林龄米槠更新林叶和枝碳氮磷含量及其化学计量特征[J]. 亚热带资源与环境学报, 2016, 11(2): 32-38. [Xu Chao, Lin Kaimiao, Liu Xiaofei, et al. Carbon, Nitrogen and phosphorus concentrations in leaves and branches and their stoichiometry characteristics in naturally regenerated *Castanopsis carlesii* forests at different stand ages[J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2016, 11(2): 32-38.]

[41] 苏凯文, 陈路红, 郑伟, 等. 云南杨梅碳、氮、磷化学计量特征[J]. 植物生态学报, 2017, 41(1): 136-146. [Su Kaiwen, Chen Luhong, Zheng Wei, et al. Carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry of *Myrica nana* in Yunnan, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2017, 41(1): 136-146.]

[42] 皮发剑, 舒利贤, 喻理飞, 等. 黔中喀斯特10种优势树种根茎叶化学计量特征及其关联性[J]. 生态环境学报, 2017, 26(4): 628-634. [Pi Fajian, Shu Lixian, Yu Lifei, et al. Study on ecological stoichiometry characteristics and correlation of plants within different organs of 10 dominant tree species in Karst region of central Guizhou [J]. Ecology and Environment Sciences, 2017, 26(4): 628-634.]

[43] 周红艳, 吴琴, 陈明月, 等. 鄱阳湖沙山单叶蔓荆不同器官碳、氮、磷化学计量特征[J]. 植物生态学报, 2017, 41(4): 461-470. [Zhou Hongyan, Wu Qin, Chen Mingyue, et al. C, N and P stoichiometry in different organs of *Vitex rotundifolia* in a Poyang Lake desertification hill[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2017, 41(4): 461-470.]

[44] 张海鑫, 曾全超, 安韶山, 等. 黄土高原子午岭林区主要林分生态化学计量学特征[J]. 自然资源学报, 2017, 32(6): 1043-1052. [Zhang Haixin, Zeng Quanchao, An Shaoshan, et al. Ecological

stoichiometric characteristics of main forest stands in Ziwuling forest region on the Loess Plateau, China[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(6): 1043−1052.]

[45] 谢锦, 常顺利, 张毓涛, 等. 天山北坡植物土壤生态化学计量特征的垂直地带性[J]. 生态学报, 2016, 36(14): 4363−4372. [Xie Jin, Chang Shunli, Zhang Yutao, et al. Plant and soil ecological stoichiometry with vertical zonality on the northern slope of the middle Tianshan Mountains[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(14): 4363−4372.]

[46] 侯博, 许正. 天山野果林的发生、演变与气候因素的关系[J]. 西北植物学报, 2005, 25(11): 128−133. [Hou Bo, Xu Zheng. Relationship of the occurrences and evolutions of wild-fruit forests with climatic factors in the Tianshan Mountain[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentali Sinica, 2005, 25(11): 128−133.]

[47] 汝海丽, 张海东, 焦峰, 等. 黄土丘陵区微地形梯度下草地群落植物与土壤碳、氮、磷化学计量学特征[J]. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1752−1763. [Ru Haili, Zhang Haidong, Jiao Feng, et al. Plant and soil C, N, P stoichiometric characteristics in relation to micro-topography in the Hilly Loess Plateau region, China[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(10): 1752−1763.]

[48] 李晓菲, 李路, 常亚鹏, 等. 雪岭云杉林叶片碳氮化学计量特征及其与土壤理化因子的关系[J]. 干旱区地理, 2019, 42(3): 599−605. [Li Xiaofei, Li Lu, Chang Yapeng, et al. Stoichiometric characteristics of leaf C and N and their correlation with soil physicochemical factors in *Picea schrenkiana* forests[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(3): 599−605.]

Variation in one-year-old branch stoichiometry of *Malus sieversii* at different altitudes and the influencing factors in Tianshan Mountains, China

YAN Jingming[1,2], ZHOU Xiaobing[2], ZHANG Jing[2], TAO Ye[1,2]

(1. Anhui Province Key Laboratory of the Biodiversity Study and Ecology Conservation in Southwest Anhui, College of Life Sciences, Anqing Normal University, Anqing 246133, Anhui, China; 2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: The variability of nutrient stoichiometric characteristics of wild apple trees (*Malus sieversii*) at different altitudes was investigated. Investigation and sampling were conducted at four altitude gradients of 1300 m, 1400 m, 1500 m, and 1600 m in a valley study area over three consecutive years (2016−2018) to analyze the comparative spatio-temporal variation characteristics of N, P, and K stoichiometry in one-year-old branches of *M. sieversii* and their relationship with environmental variables. The findings revealed that the branch stoichiometric indexes of wild apple trees tended to exhibit moderate and weak variations at different altitudes and in different years; P exhibited the weakest variability and N:K exhibited the strongest variability. The year significantly impacted the five stoichiometric indexes, with the exception of P:K, whereas altitude had a significant impact only on N:P. The twig N, N:P, and N:K was also affected by the interaction of year and altitude. There were no significant differences between branch P (except for in 2017), K, and P:K at different altitudes, although they all displayed significant interannual changes. The branch N, N:P, and N:K all represented significant temporal and spatial variability; however, the changing trends differed. Both correlation analysis and NMDS analysis demonstrated that they own growth status of wild apple trees (dead branch rate, projective coverage, degree of disease and insect pests, and fruit amount), annual precipitation, and soil factors all affected branch stoichiometric characteristics to a certain extent; however, different stoichiometric indices exhibited different responses. In general, the better the plant growth status of wild apple trees, the lower the nutrient contents in one-year-old branches. Consequently, the branch stoichiometric characteristics of wild apple trees exhibit obvious variability at different altitude gradients and temporal scales, and the influencing factors are quite complex.

Keywords: *Malus sieversii*; one-year-old branch; stoichiomtery; inter-annual variation; altitude; environmental factor